

**PEMBUATAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN
KATALIS Pd/C DAN Pt/C MENGGUNAKAN METODE CATALYST
COATED MEMBRANE (CCM) DAN UJI KINERJA PADA PEMFC**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Bidang Studi Kimia**



Oleh :
INDRA LESMANA
08031281722052

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMBUATAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN
KATALIS Pd/C DAN Pt/C MENGGUNAKAN METODE CATALYST
COATED MEMBRANE (CCM) DAN UJI KINERJA PADA PEMFC**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

**INDRA LESMANA
08031281722052**

Indralaya, 20 Januari 2022

Pembimbing I



**Dr. Dedi Rohendi, M.T.
NIP. 196704191993031001**

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Indra Lesmana / 08031281722052 dengan judul “Pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis Pd/C Dan Pt/C Menggunakan Metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM) Dan Uji Kinerja Pada PEMFC” telah diperlakukan dihadapan Tim Pengujian Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 29 Desember 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Inderalaya, 20 Januari 2022

Pembimbing:

1. **Dr. Dedi Rohendi, M. T**

NIP. 196704191993031001



Pengujian:

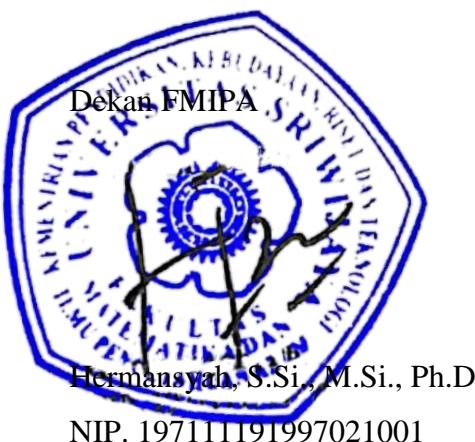
1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si**

NIP. 196808271994022001

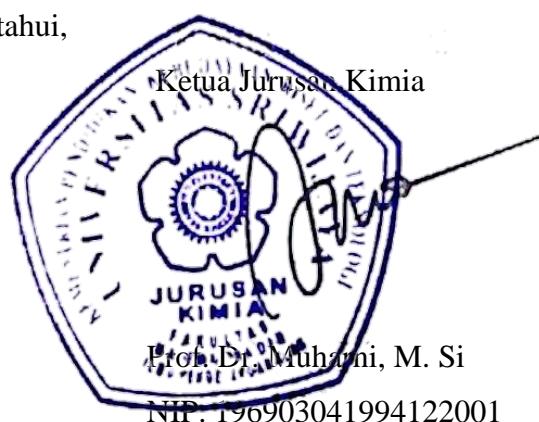


2. **Dra. Desneli, M.Si**

NIP.196912251997022001



Mengetahui,



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Indra Lesmana
NIM : 08031281722052
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 20 Januari 2022

Penulis



Indra Lesmana

NIM. 08031281722052

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Indra Lesmana
NIM : 08031281722052
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis Pd/C Dan Pt/C Menggunakan Metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM) Dan Uji Kinerja Pada PEMFC”. Dengan hak bebas royalti non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 20 Januari 2022

Yang menyatakan



Indra Lesmana

NIM. 08031281722052

SUMMARY

FABRICATION OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) WITH Pd/C AND Pt/C CATALYST BY USING CATALYS COATED MEMBRANE (CCM) METHOD AND PERFORMANCE TEST ON PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Indra Lesmana: Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xvi + 55 pages, 3 tables, 11 images, 4 appendices

Fabrication, performance and durability test of Membrane Electrode Assembly (MEA) based on Pt/c and Pd/c catalysts have been carried out. MEA was made using Catalyst Coated Membrane (CCM) method. The catalyst coating was carried out by spraying catalyst onto membrane (MEA 1) and with capton (MEA 2). MEA was characterized using Cyclic Voltammetry (CV) method to measure Electrochemical Surface Area (ECSA) value also Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to measure the conductivity. Performance test of the MEA was carried out by measuring the OCV value, optimum power density and durability.

MEA 1 has ECSA and conductivity value are $5.916 \text{ cm}^2/\text{g}$ and $0.361 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$, while MEA 2 has $1.1194 \text{ cm}^2/\text{g}$ and $0.156 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$. The OCV of MEA 1 was 0.869 V and optimum power density was 0.2756 W at 26 mA/cm^2 . While in MEA 2 has 0.786 V and 0.1118 W at 13.6 mA/cm^2 . The durability test was carried out to MEA 1, it was tested along 6 hours. It has 0.027 V voltage drop which has 0.398 V initial voltage and 0.371 V final voltage. Based on OCV value, performance test and optimum power MEA was better than MEA 2.

Keywords : MEA, CCM, Kapton, Pt/C, PEMFC

Citation : 56 (2003-2020)

RINGKASAN

PEMBUATAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd/C DAN Pt/C MENGGUNAKAN METODE CATALYST COATED MEMBRANE (CCM) DAN UJI KINERJA PADA PEMFC

Indra Lesmana : Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xvi + 55 halaman, 3 tabel, 11 gambar, 4 lampiran

Pembuatan dan uji kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) berbasis katalis Pt/C dan Pd/C telah dilakukan. MEA dibuat menggunakan metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM). Pelapisan katalis dilakukan dengan cara penyomprotan katalis ke membrane (MEA 1) dan pelapisan dengan media Kapton (MEA 2). MEA dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengukur nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan metode *Electrochemical Impadance Spectroscopy* (EIS) untuk mengukur nilai konduktivitas. Penetuan kinerja MEA diukur dengan menentukan nilai *Open Current Voltage* (OCV), densitas daya optimum serta daya tahan.

MEA 1 memiliki nilai ECSA dan konduktivitas sebesar $5,916 \text{ cm}^2/\text{g}$ dan $0,361 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$ sedangkan pada MEA 2 sebesar $1,1194 \text{ cm}^2/\text{g}$ dan $0,156 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$. MEA 1 memiliki OCV sebesar 0,869 V dan densitas daya optimum 0,2756 W dengan densitas arus 26 mA/cm^2 . Sementara itu, MEA 2 memiliki OCV sebesar 0,786 dan densitas daya optimum sebesar 0,1118 W pada densitas arus optimum $13,6 \text{ mA/cm}^2$. Pengukuran daya tahan dilakukan pada MEA 1 diuji selama 6 jam. Hasilnya MEA 1 memiliki penurunan tegangan 0,027 V dengan tegangan awal 0,398 V dan tegangan akhir 0,371 V. Berdasarkan nilai OCV, uji kinerja, dan daya optimum MEA 1 lebih baik dibandingkan dengan MEA 2.

Kata kunci : MEA, CCM, Kapton, Pt/C, PEMFC

Situsi :56 (2003-2020)

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Setiap kalian adalah pemimpin, dan setiap kalian akan dimintai pertanggungjawabannya.”
(HR. Bukhori)

“Tidak ada keimanan bagi seseorang yang tidak amanah dan tidaklah ada manfaat beragama bagi orang yang tidak memegang janji”
(HR. Ahmad)

... Jangan pernah berhenti untuk memiliki mimpi dan berharap, karena mimpi dan harapan itulah yang mampu membawa kita kepada keajaiban...

Pertama saya ucapkan terimakasih kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sekaligus nikmat-nikmat yang akhirnya dapat mengantarkan saya untuk menyelesaikan pembuatan skripsi dengan baik dan pada waktu yang tepat. Serta sosok inspiratif yang menjadi suri tauladan baginda Nabi Muhammad SAW, sang revolusioner sejati.

Karya ini saya persembahkan untuk Ibu, Bapak, Kakak-kakakku, keponakan dan keluarga besar yang telah memberikan dorongan dan semangat Kakak-kakak dan adik-adik tingkat di dunia perkuliahan yang telah menghibur dan menemani masa perkuliahan.

Dosen Pembimbing dan Akademik
Bapak Ibu Dosen yang menjadi guru
Almamater kuning kerakyatan
Kampus Universitas Sriwijaya

Terima Kasih...

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, kita memujinya, memohon ampunan dan meminta pertolongan kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis Pd/C Dan Pt/C Menggunakan Metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM) Dan Uji Kinerja Pada PEMFC”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjan sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan sumber, penelitian, pengumpulan data dan sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan anak kedua orang tua juga bantuan dari berbagai pihak, baik materil maupun moril, akhirnya selesai sudah penelitian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Dedi Rohendi, M. T** selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Dr. Muhamni, M. Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M. T selaku Dosen Pembimbing yang telah mendidik dan memberikan arahan untuk mengarungi dunia dan akhirat selama masa kuliah dan berharap untuk masa kedepannya juga.
5. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati, M. Si dan Dra. Desnelli, M. Si selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
6. Bapak Zainal Fanani, M.Si selaku pembahas pada saat seminar proposal
7. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.

8. Umak dan Ubak yang selalu ada mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan serta semangat dan kakak-kakaku Rasmadi, Eva Apriyanti, Novriyadi dan Tiara Nirmala Sari yang selalu menjadi *support system* moril dan materil selama aku hidup.
9. Keluarga Besarku yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan dan semangat.
10. Kepada Kak Cosiin dan Mbak Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam semua proses administrasi selama perkuliahan.
11. Kak Dwi, kak Icha, kak Reka, kak Wulan, dan kak Dea selaku mentor skripsi yang telah selalu sabar, selalu mengingatkan, selalu memberi semangat.
12. Kepada temanku Jefri Liasta, M. Rido Akbar, Handika Prasetyo dan Riki Setiawan yang telah bersedia meminjamkan laptop untuk pengerjaan skripsi
13. Kepada rekan-rekan IKAHIMKI wilayah 1 Fitri, Reni, Egidia, Fendi, Rifki, Yuna, Fredy, Rezal, Randa, Yezky, Rio, Rawel yang telah menjadi sahabat diluar kampus dan bertukar motivasi dan semangat.
14. Kepada kanda dan yunda HMI Komisariat FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah membersamai di masa akhir perkuliahan
15. Kepada keluarga besar HMI Cabang Palembang Darussalam sebagai wadah menimba ilmu, wawasan, dan jejaring.
16. Kabinet Inspiratif BEM KM FMIPA yang menjadi rumah kedua pada masanya dan keluarga di organisasi intra kampus.
17. Keluarga kecil Dinas Polkastrat: Sarifah, Rama, Rucat, Agus, Jerry, Jeni, Nadia, Iren, Putri, dan Inke
18. Adik-adik, sahabat dari awal perkuliahan Elsha Augustiara dan Claudia Indah Chantika yang telah memberi warna dunia perkuliahan.
19. Team PUR angkatan 201: Dilla, Roma, Oik, Ayu, Saumi, Vadia, Resti, Enggi, Nimyo, terimakasih banyak atas bantuan dan saran-saran serta waktu yang dihabiskan selama masa penelitian.
20. Adek-adek 18 PUR (Ilyas, Ade, Irma, Delima, Cici, Balqish, Fatma, Anin, Marya, Sabrina, Devi, Igam, Sandi, Eko) terimakasih selalu memberikan

support, semangat dan hiburan. Sukses terus untuk penelitiannya dan semangat.

21. Teman-teman seperjuangan Kimia angkatan 2017, Kakak-Kakak tingkat 2016, 2015 dan 2014, serta adik-adik tingkat Angkatan 2018 dan 2019 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu memberikan semangat, kenangan dan dukungan. Terimakasih banyak semuanya.
22. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tyna give more than I receive, I wanna thank me tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.*
23. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung ataupun tidak langsung, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala yang setimpal dari Allah SWT. Semoga bantuan kalian menjadi kemudahan dalam menjalankan kehidupan yang dirahmati Allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, November 2021



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
SUMMARY	ivi
RINGKASAN.....	ivii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iviii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Baru Terbarukan.....	5
2.2 <i>Fuel cell</i>	6
2.3 <i>Proton Exchange Membrane Fuel cell (PEMFC)</i>	7
2.4 <i>Membrane Electrode Assembly(MEA)</i>	9
2.5 Katalis Pt/C dan Pd/C	9
2.6 <i>Catalyst Coated Membrane (CCM)</i>	10
2.7 Karakterisasi Elektroda	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14

3.2.1 Alat.....	14
3.2.2 Bahan.....	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
3.3.1 Pembuatan <i>Lapisan Difusi Gas</i> (GDL)	14
3.3.2 Preparasi Katalis Pt/C (Anoda)	15
3.3.3 Preparasi Katalis Pd/C (Katoda)	15
3.3.4 Pembuatan MEA Menggunakan Kapton	15
3.3.5 Karakterisasi MEA.....	16
3.3.5.1 Karakterisasi Menggunakan metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	16
3.3.5.2 Karakterisasi Menggunakan metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	16
3.3.6 Uji Kinerja MEA.....	17
3.3.7 Analisis Data.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Pembuatan GDL.....	19
4.2 Pembuatan MEA Menggunakan Metode CCM dengan Penyomprotan Katalis ke Membran (MEA 1)	19
4.3 Pembuatan MEA Menggunakan Metode CCM dengan Media Kapton (MEA 2).....	20
4.4 Karakterisasi MEA.....	21
4.4.1 Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	21
4.4.2 Metode <i>Electrochemical Impadance Spectroscopy</i> (EIS)	23
4.5 Uji Kinerja MEA.....	25
4.5.1 Pengukuran Nilai OCV	25
4.5.2 Pengukuran MEA Berdasarkan I-V dan I-P <i>Performance</i>	25
4.6 Uji Ketahanan MEA.....	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMAPIRAN	34

DAFTAR TABEL

	Halaman
Table 1. Hasil Perhitungan Nilai ECSA.....	24
Table 2. Data Hasil <i>fitting</i> kurva <i>Nyquist</i>	26
Table 3. Nilai OCV	27

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Konsumsi Energi Berdasarkan Jenisnya	5
Gambar 2. PEMFC <i>Single Stack</i>	8
Gambar 3. <i>Cyclic Voltamogram</i>	11
Gambar 4. Kurva CV MEA	12
Gambar 5. (A) Lapisan Difusi Gas (GDL) dan (B) Backing Layer.....	20
Gambar 6. MEA 1	21
Gambar 7. (A) Kapton dan (B) MEA 2.....	22
Gambar 8. Kurva Voltammogram (A) MEA 1 dan (B) MEA	23
Gambar 9. Kurva Nyquist (A) MEA 1 dan (B) MEA 2	25
Gambar 10. (A) Kurva I-V dan (B) Kurva I-P.....	28
Gambar 11. Kurva pengaruh waktu kinerja terhadap MEA	29

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Bagan Prosedur Penelitian.....	36
Lampiran 2. Penghitungan Nilai ECSA Karakterisasi <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) ..	38
Lampiran 3. Penghitungan Nilai Konduktivitas Pada Karakterisasi <i>Electrochemical Impadance Spectroscopy</i> (EIS)	42
Lampiran 4. Alat dan Bahan Penelitian	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi di Indonesia didominasi oleh energi tak terbarukan yang berasal dari fosil terkhusus minyak bumi dan batu bara. Hal ini terjadi sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk (Azhar dan Dendi, 2018). Meningkatnya permintaan terhadap penggunaan energi dan ketergantungan pada bahan bakar fosil akan menghambat dekarbonisasi di sektor energi sebagai wujud implementasi transisi energi berkelanjutan berdasarkan *Paris Agreement* yang diikuti oleh Indoensia (Gielen *et al*, 2019). Mengingat energi merupakan sektor yang vital, sementara ketersediaan energi fosil semakin menipis. Perlunya alternatif energi untuk mengantisipasinya yaitu dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT) sebagai solusi energi terbaik.

Ketersediaan terhadap sumber energi baik dari energi baru maupun energi baru terbarukan merupakan kewenangan dari pemerintah di tingkat daerah sampai nasional yang diwajibkan sebagaimana tercantum dalam Undang-undang No. 30 Tahun 2007 tentang energi. Indonesia mempunyai komitmen untuk meningkatkan hasil dari EBT sebesar 23% sampai dengan 31% pada tahun 2050 dalam pengelolaan energi nasional berdasarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) (Haryanto, 2017). Adanya KEN diharapkan mampu mendorong penganekaragaman energi terutama EBT dalam pemenuhan kebutuhan energi dalam negeri.

Arah pengembangan EBT tertuang dalam kebijakan Presiden RI pada Kegiatan Pokok RKP 2009 untuk mengembangkan teknologi *fuel cell* dan alat penghemat bahan bakar minyak (BBM) (Dewi, 2011). *Fuel cell* memiliki prinsip kerja berlandaskan reaksi pembakaran yang mempu menjadikan energi kimia menjadi suatu energi listrik seperti halnya konversi hidrogen dan oksigen yang dijadikan sebagai sumber energi listrik. *Fuel cell* terdiri dari elektrolit padat berupa membran nafion yang memisahkan katoda dan anoda. Membran nafion hanya dapat menghantar ion H⁺ (proton) saja, sedangkan elektron tidak dapat melewati elektrolit tetapi mengalir melalui sirkuit luar (Rohendi dan Adnan, 2010).

Fuel cell memiliki banyak jenis seperti *alkaline fuel cell* (AFC), *solid oxide fuel cell* (SOFC), *direct methanol fuel cell* (DMFC), *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) dan masih banyak lagi (Mekhilef *et al.*, 2012). Pengembangan *fuel cell* pada saat ini didominasi pada PEM *fuel cell* yang yang bekerja berdasarkan reaksi elektrokimia. Melalui reaksi elektrokimia, PEMFC ini menghasilkan energi listrik dari energi kimia berupa hidrogen (bahan bakar) dan oksigen (oksidan) (Rohendi *et al*, 2013). Kelebihan dari sel bahan bakar ini adalah mempunyai rapat arus yang tinggi, mampu beroperasi pada temperatur yang rendah dan mudah untuk di distribusikan (Safitri *et al*, 2016).

PEMFC memiliki komponen penyusun yang sangat penting berupa *Membrane Electrode Assembly* (MEA). MEA ini memiliki dua elektroda berupa katoda dan anoda yang mengapit sebuah elektrolit (misalnya membrannafion). Pada MEA terjadi konversi hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik dan zat sisa/buang berupa air karena tempat ini adalah sumber reaksi pada PEMFC. Pentingnya peranan MEA pada sel bahan bakar harus menjadi perhatian agar mampu memiliki kemampuan mengkonversi energi kimia menjadi listrik dan memiliki daya tahan terhadap rapat arus yang tinggi. Terdapat dua faktor yang dapat membuat kerja dari MEA menjadi optimal yaitu katalis yang digunakan dan metode pembuatan MEA (Rohendi dan Adnan, 2010).

Katalis yang sering digunakan pada *fuel cell* adalah katalis Pt/C yang berada di bagian anoda dan katoda pada pembuatan elektroda. Elektroda merupakan alat penghantar panas yang baik (konduktor) yang dilewati suatu arus listrik dari satu media ke media lainnya. Katalis Pt/C dikenal karena dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi. Katalis Pt/C ini memiliki besaran nilai *open current voltage* (OCV) sebagai salah satu parameter kinerja MEA sebesar 0,75 V (Tang *et al.*, 2007). Akan tetapi cadangannya yang terbatas dan harga yang mahal serta mudah terkontaminasi oleh karbon monoksida menjadi kelemahan tersendiri dari katalis berbasis platina (Vietanti dkk., 2020). Oleh karena itu, digunakan katalis berbasis paladium (Pd) di bagian katoda menggantikan katalis Pt untuk menjadi satu alternatif yang menjanjikan untuk dijadikan sebagai bahan elektrokatalitik dengan beberapa kemiripan, seperti ukuran atom dan struktur kristal tetapi lebih murah dan berlimpah (Shim *et al.*, 2012). Selain itu, Pd sebagai katalis anoda untuk

reaksi oksidasi dapat membantu aktivitas reaksi reduksi gas oksigen dan dapat sebanding dengan Pt (Antolini *et al.*, 2011).

Hal lain yang dapat membuat MEA bekerja menjadi lebih optimal adalah metode pembuatannya. Metode yang sering digunakan dalam pembuatan elektroda diantaranya metode penyemprotan, *doctor blade* (pisau dokter) dan metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM). Penggunaan metode penyemprotan (konvensional) dilakukan dengan melakukan penyemprotan terhadap lapisan katoda dan anoda ke lapisan difusi gas yang akan direkatkan pada membran. Metode selanjutnya *doctor blade* dilakukan dengan menyeka permukaan silinder menggunakan pisau tipis sementara silinder berputar (Park *et al.* 2010). Pada penelitian ini digunakan metode CCM dengan penyemprotan pada lapisan katalis pada kedua sisi membrane lalu ditempelkan lapisan difusi gas pada membrane (Rohendi *et al.*, 2019). Selain penyemprotan langsung ke membrane, pembuatan MEA dengan metode CCM ini juga dapat menggunakan media lapis tipis untuk transfer katalis seperti lapisan film tipis seperti kapton dan teflon. Keunggulan dari metode CCM adalah memiliki kontak antarmuka yang baik pada membran dan katalis. Selain itu mampu mengurangi jumlah katalis yang digunakan dengan menghasilkan nilai kinerja yang setara dengan metode konvensional (Sun *et al.*, 2010).

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan MEA dengan menggunakan kombinasi katalis Pt/C dan Pd/C yang masing-masing akan digunakan pada anoda dan katoda. Pembuatan menggunakan metoda CCM dengan melakukan penyemprotan katalis secara langsung ke membran serta menggunakan media film tipis berupa kapton untuk distribusi katalis. Penggunaan kapton ditempatkan sebagai media katalis dengan cara penuangan katalis pada cetakan yang ditempelkan pada kapton sebelum direkatkan pada membran. MEA yang dibuat dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Karakterisasi menggunakan CV digunakan untuk mengukur nilai aktivitas katalitik pada luas permukaan MEA dengan penentuan nilai ECSA, sedangkan pada EIS digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas elektrik pada MEA. Penilaian terhadap MEA dilakukan dengan mengukur kinerja dan daya tahan MEA. MEA akan diuji menggunakan

single stek PEMFC, sehingga didapatkan nilai perbandingan dari *Open Circuit Voltage* (OCV), densitas arus maksimum dan densitas daya maksimum pada MEA. Sementara itu, penentuan daya tahan pada MEA akan dilakukan pada MEA yang memiliki nilai OCV terbaik pada densitas arus maksimum.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik sifat katalitik dan konduktivitas listrik pada MEA yang dibuat menggunakan metode CCM dengan katalis Pd/C dan Pt/C?
2. Bagaimana kinerja (*performece*) dan ketahanan (*durability*) MEA pada stek PEMFC?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Melakukan pembuatan MEA dengan metode pembuatan CCM menggunakan katalis Pd/C dan Pt/C serta karakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) pada MEA.
2. Melakukan uji kinerja dan uji ketahanan MEA yang telah di buat pada stek PEMFC.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk mendapatkan informasi tentang hasil dan potensi katalis Pd/C dan Pt/C dalam pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan menggunakan metode *Catalyst Coated Membrane* (CCM) pada aplikasi *Proton Exchange Membrane Fuel cell* (PEMFC) sebagai salah satu alternatif dari penerapan energi baru terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Álvarez, G. F., M. Mamlouk, and K. Scott. 2011. An Investigation of Palladium Oxygen Reduction Catalysts for the Direct Methanol *Fuel cell*. *International Journal of Electrochemistry*. 2011(1):1–12.
- Antolini, Ermelio, Sabrina C. Zignani, Sydney F. Santos, and Ernesto R. Gonzalez. 2011. Palladium-Based Electrodes: A Way to Reduce Platinum Content in Polymer Electrolyte Membrane *Fuel cells*. *Electrochimica Acta*. 56(5):2299–2305.
- Azhar, Muhamad, and Dendy Adam Satriawan. 2018. Implementasi Kebijakan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*. 1(4):398–412.
- Bredar, Alexandria R. C., Amanda L. Chown, Andricus R. Burton, and Byron H. Farnum. 2020. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials*. 3(1): 66–98.
- Busono, Pratondo, Rony Febryarto, and Menasita Mayantasasi. 2018. Rancangan Bangun Potentiostat Ekonomis Berbasis Mikrokontroler Untuk Aplikasi Sensor Elektrokikia. *Prosiding Semnastek*. 1–7.
- Chen, Liang, Rui Lin, Shenghao Tang, Di Zhong, and Zhixian Hao. 2020. Structural Design of Lapisan Difusi Gas for Proton Exchange Membrane *Fuel cell* at Varying Humidification. *Journal of Power Sources* 467(1):228355.
- Dahalan, Abdul Bin Halim, Mohd Zoinol Abidi Mohd Zoinol, and Mohd Azlishah Othman. 2020. Experimental Analysis on Double Layer Kapton Material Using Peltier Thermoelectric Device. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*. 8(2):393–99.
- Dewi, Eniya Listiani. 2011. Potensi Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Untuk Kelistrikan Nasional. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan*. 1(1):1–6.
- Elgrishi, Noémie, Kelley J. Rountree, Brian D. McCarthy, Eric S. Rountree, Thomas T. Eisenhart, and Jillian L. Dempsey. 2018. A Practical Beginner’s Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education* 95(2):197–206.
- Fitriyatus, Ana, Akhmad Fauzi, and Bambang Juanda. 2018. Prediction OfFuel Supply and Consumption in Indonesia with System Dynamics Model. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*. 17(2):118–37.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian M. D., Wagner, N. and Gorini, R. 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. 1(24):38–50.

- Guaitolini, Stéfani V. M., and Jussara F. Fardin. 2018. *Fuel cells: History (Short Remind), Principles of Operation, Main Features, and Applications.* *Advances in Renewable Energies and Power Technologies.* 2(1):123-50.
- Gunawan, Indra, Sudaryanto, and Wahyudianingsih. 2016. Studi Electrochemical Impedance Spectroscopy Dari Lembaran Polyvinyl Alcohol Dengan Baterai Li-ION." *Jurnal Sains Materi Indonesia.* 18(1):9–14.
- Haryanto, Agus. 2017. *Energi Terbarukan.* Yogyakarta: Innosain.
- Hidayatulloh, T dan Pirim, S. 2019. Analisis Logam Cd Menggunakan Cyclic Voltammetry Making Of Graphene Oxide-Paraffin Working Electrode For Analysis Of Cd Using Cyclic Voltammetry. *UNESA Journal of Chemistry.* 8(2):79–87.
- Huang, K., Kotaro, S., Radoslav, R. A., and Yangchuan, X. 2012. Increasing Pt oxygen reduction reaction activity and durability with a carbon-doped TiO₂ nanocoating catalyst support. *Journal of Material Chemistry.* , 22:16824.
- Indayaningsih, N., Zulfia, A., Priadi, D., & Kartini, E. 2012. *Synthesis of Empty Fruit Bunches Carbon Polymer Composites As Lapisan Difusi Gas for Electrode Materials.*
- Karimi, M. B., Mohammadi, F., & Hooshayri, K. 2019. Recent approaches to improve Nafion performance for fuel cell applications: A review. *Int. J. Hydrogen Energy.* 44(54). 28919–28938.
- Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi Bbm. *Jurnal IPTEK.* 19(2):75–91.
- Kim, K. H., Lee, K. Y., Kim, H. J., Cho, E. A., Lee, S. Y., Lim, T. H., Jang, J. H.2010. The effects of Nafion® ionomer content in PEMFC MEAs prepared bya catalyst-coated membrane (CCM) spraying method. *Int. J. HydrogenEnergy.* 35(5). 2119–2126.
- Kirubakaran, I., Jain, S. and Nema, R. K. 2009.A review on fuel cell technologies and power electronic interface. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*13(8):2430-2440
- Li, W., Zhao, X., & Manthiram, A. (2014). Room-temperature synthesis of Pd/Ccathode catalysts with superior performance for direct methanol fuel cells. *J.Materials Chemistry A.* 2(10). 3468–3476.
- Lister, S., and McLean, G. 2004. PEM fuel cell electrodes. *Journal of Power Sources.* 130:61–76.
- Liun, Edwaren. 2011. "Potensi Energi Alternatif Dalam Sistem Kelistrikan Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir.* 311–22.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W.R.W., Husaini, T. and Haque, M. A. 2018.

- Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 89(1): 117–134.
- Maulana, M. I. and Syahbanu, I. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (Ppy)/ Selulosa Bakteri. *Jkk*. 6(3): 11–18.
- Mekhilef, S., Saidur, R., and Safari, A. 2012. Comparative study of different fuel cell technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(14):981-989.
- Onggo, A., Syampurwadi, A., dan Yudianti, R. 2012. Pembuatan Gas Diffusion Electrode Dengan Teknik Screen Printing : Pengaruh Microporous Layer Terhadap Strukturmikro Dan Kinerja Elektrokatalis. *Indonesian Journal of Materials Science*. 14(4):253-258
- Park, I. N., Li, W., and Manthiram, A. 2010. Fabrication of catalyst-coated membrane-electrode assemblies by doctor blade method and their performance in fuel cells. *Journal of Power Sources*. 195(4):7078-7082.
- Prasutiyon, Hadi. 2019. *Fuel cells* Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Di Indonesia. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*. 1(1):11–22.
- Purnami, Purnami, ING. Wardana, and Veronika K. 2015. Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(1):51–59.
- Qin, Congwei, Jue Wang, Daijun Yang, Bing Li, and Cunman Zhang. 2016. Proton Exchange Membrane *Fuel cell* Reversal: A Review. *Catalysts*. 6(12):1–21.
- Randviir, Edward. P, and Craig, E. Banks. 2013. *Electrochemical Impedance Spectroscopy - an Overview / ScienceDirect Topics*. 3-5.
- Ridlo, M. Rosyid. 2020. “Perkembangan Riset Mea Untuk Pemfc. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek (SNPBS)*. 531–536.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia Dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rohendi, Dedi., Addy, Rachmat and Nirwan, Syarif. 2018. Fabrication and Characterization of Pt-Co/C Catalyst for *Fuel cell* Electrode. *Journal of Physics: Conference Series*. 1(1):1-5.
- Rohendi, Dedi, and Yulinar Adnan. 2010. Pembuatan Elektroda *Fuel cell* Dengan Metode Elektrodepositi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C Dan Pt/C Dan Karakterisasinya. *Jurnal Penelitian Sains*. 13(2):28–32.
- Rohendi, Dedi, Edy Herianto Majlan, Abu Bakar Mohamad, Wan Ramli Wan Daud, Abdul Amir Hassan Kadhum, and Loh Kee Shyuan. 2013. Characterization of Electrodes and Performance Tests on MEAs with Varying Platinum Content and under Various Operational Conditions.

- International Journal of Hydrogen Energy.* 38(22):9431–37.
- Rohendi, Dedi, Edy Herianto Majlan, Abu Bakar Mohamad, Wan Ramli Wan Daud, Abdul Amir Hassan Kadhum, and Loh Kee Shyuan. 2015. Effects of Temperature and Backpressure on The Performance Degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy.* 40(34): 10960–10968.
- Rohendi, Dedi, Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., Raharjo, J. 2016. Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indones. J. Fundam. App. Chem.* 1(3). 61–66.
- Rohendi, D., Syarif, N., Said, M., Utami, M. T., & Marcelina, Y. 2019. Utilizationof catalyst-coated membrane (CCM) and spraying methods in fabrication membrane electrode assembly (MEA) for direct methanol fuel cell (DMFC) using Pt-Co / C catalyst. *Journal of Physics: Conference Series.* 1282(1).
- Ruiz-Camacho, B., Baltazar Vera, J. C., Medina-Ramírez, A., Fuentes-Ramírez, R., & Carreño-Aguilera, G. 2017. EIS analysis of oxygen reduction reaction of Pt supported on different substrates. *Int. J. Hydrogen Energy.* 42(51). 30364– 30373.
- Rosli, R. E., A. B. Sulong, W. R. W. Daud, M. A. Zulkifley, T. Husaini, M. I. Rosli, E. H. Majlan, and M. A. Haque. 2017. A Review of High-Temperature Proton Exchange Membrane Fuel cell (HT-PEMFC) System. *International Journal of Hydrogen Energy.* 42(14):9293–9314.
- Safitri, Icmi Alif, Bayu Rudyanto, Agus Nursalim, and Budi Hariono. 2016. Uji Kinerja Smart Gried Fuel cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi* 16(1):11–16.
- Samudro, Ganjar. 2016. Konservasi Energi Berbasis Renewable Energy Technology Dengan Pemanfaatan Teknologi Microbial. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan.* 13(2):57.
- Shim, J. H., Kim, Y. S., Kang, M., Lee, C., & Lee, Y. 2012. Electrocatalyticactivity of nanoporous Pd and Pt: Effect of structural features. *Physical Chemistry Chemical Physics.* 14 (11). 3974–3979.
- Sugiyono, Agus. 2014. Permasalahan Dan Kebijakan Energi Saat Ini. *Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT Dan BKK-PII Permasalahan..* 1(1):9–16.
- Sun, Liangliang, Ran Ran, and Zongping Shao. 2010. Fabrication and Evolution of Catalyst-Coated Membranes by Direct Spray Deposition of Catalyst Ink onto Nafion Membrane at High Temperature. *International Journal of Hydrogen Energy.* 35(7):2921–25.
- Tang, H., Wang, S., Pan, M., Jiang, S. P., & Ruan, Y. 2007. Performance of directmethanol fuel cells prepared by hot-pressed MEA and catalyst-coated

- membrane (CCM). *Electrochimica Acta*. 52(11). 3714–3718.
- Untari, Harsini, M. and Fahmi, M. Z. 2019. Pengaruh Komposisi Elektroda Pasta Karbon Nanopori/Ferosen Sebagai Sensor Voltammetri Hidrokuinon. *Jurnal Elektronik*. 9(1): 18–22.
- Vietanti, Frizka, Diah Susanti, Hariyati Purwaningsih, and Fredy Kurniawan. 2019. Pengaruh Reduktor Zink Pada Sintesis Graphene Terhadap Performa PdAu / Graphene Sebagai Material Elektrokatalis DMFC. 379–84.
- Wang, Wentao., Shunquan Chen, Jianjun Li, and Wei Wang. 2015. Fabrication of Catalyst Coated Membrane With Screen Printing Method In a Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Intenational Journal of Hydrogen Energy*.. 14(2):4649-4658.
- Wisojodharmo, Lies A., Dewi Kusuma Arti, and Eniya Listiani Dewi. 2012. Pendahuluan Karakterisasi Grafit Matriks Polistiren Sebagai Material Untuk Separator Proton Exchange Membrane *Fuel cell*. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 40(1):103–7.
- Youvial, D. A. N., & Hidrogen, U. 2003. Polymer Electrolyte Membrane. *Membrane Technology*. 2003(3). 11.
- Yusofet *al.*, 2018. Effect of Pt–Pd/C Coupled Catalyst Loading and Polybenzimidazole Ionomer Binder on Oxygen Reduction Reaction in High-Temperature PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 1-10.
- Zhang, Lingling, Yawen Tang, Jianchun Bao, Tianhong Lu, and Cun Li. 2006. A Carbon-Supported Pd-P Catalyst as the Anodic Catalyst in a Direct Formic Acid *Fuel cell*. *Journal of Power Sources*. 162(1):177–79.